

Dinámica de los Fluídos

Flujos Fluídos

- Sustancias que no transmiten esfuerzos
- Se deforman cuando se les aplica una fuerza
- Incluye, agua y gases
- Fuerzas – actúan en todo el fluido

Propiedades de los Fluidos

Los dos parámetros principales son: densidad y viscosidad.

Densidad es una medida del peso por unidad de area (g/cm^2)

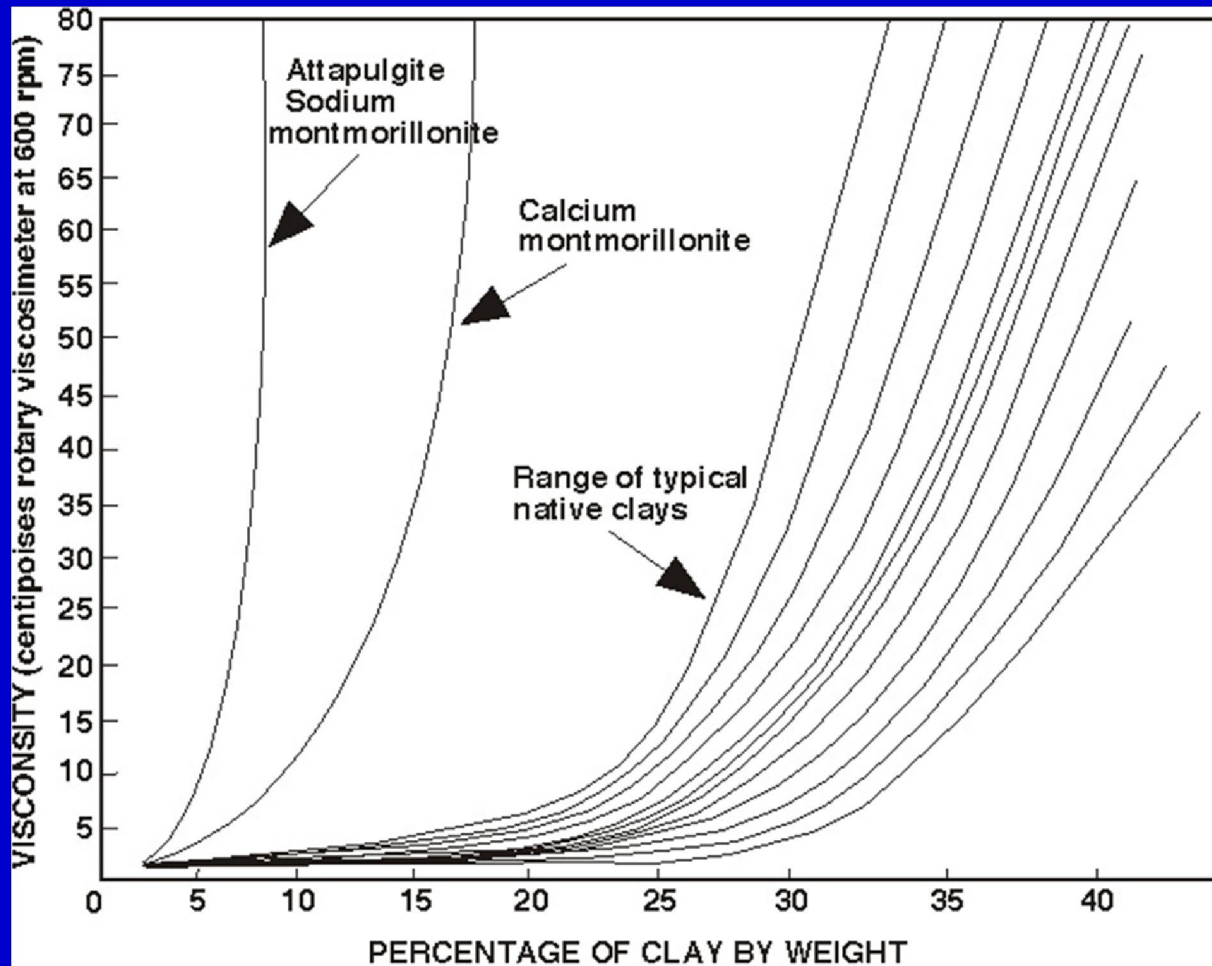
Viscosidad es una magnitud relacionada con la resistencia del fluído a la cizalla y se mide en Poison (g/cm/sec).

Un factor importante que afecta densidad y viscosidad es la temperatura.

Viscosidad

- Medida de la fricción interna entre las partículas de un fluido
 - Cohesión molecular
 - Resistencia del fluido a deformarse (o fluir)
- Viscosidad dinámica = μ = esfuerzo de cizalla/ritmo de cambio de θ por unidad de tiempo

La concentracion y mineralogia de las arcillas en suspension dentro de un fluido tiene una influencia importante sobre la densidad y la viscosidad



Viscosidad Cinemática

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

μ = viscosidad
 ρ = densidad

- Viscosidad constante a T constante; ρ no depende del esfuerzo de cizalla o de la duración del esfuerzo – Fluido Newtoniano
- $T \uparrow$ $\mu \downarrow$
- Viscosidad cinemática determina cuando un flujo desarrolla turbulencia

Presión y Cizalla

- Cizalla (τ) - se refiere a la fuerza o esfuerzo ejercido paralelo a la superficie

$$\text{Cizalla } (\tau) = F/A$$

- Presión (P) – se refiere a la fuerza o esfuerzo ejercido perpendicular a la superficie

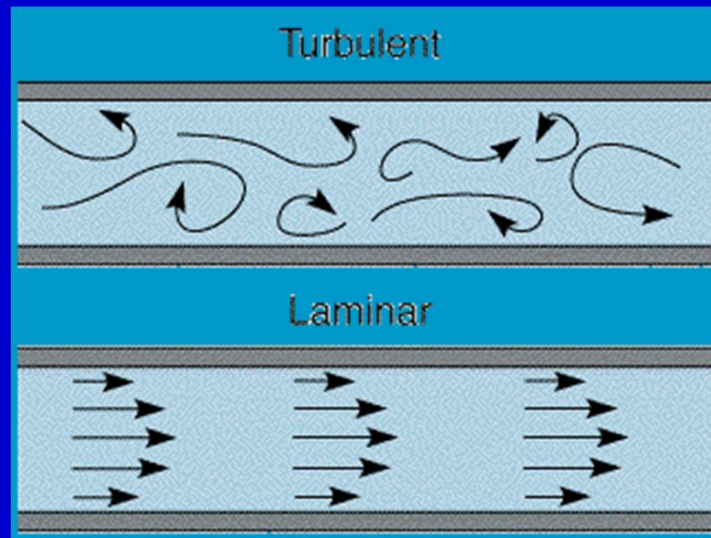
$$\text{Presión} = F/A$$

Flujos Fluídos

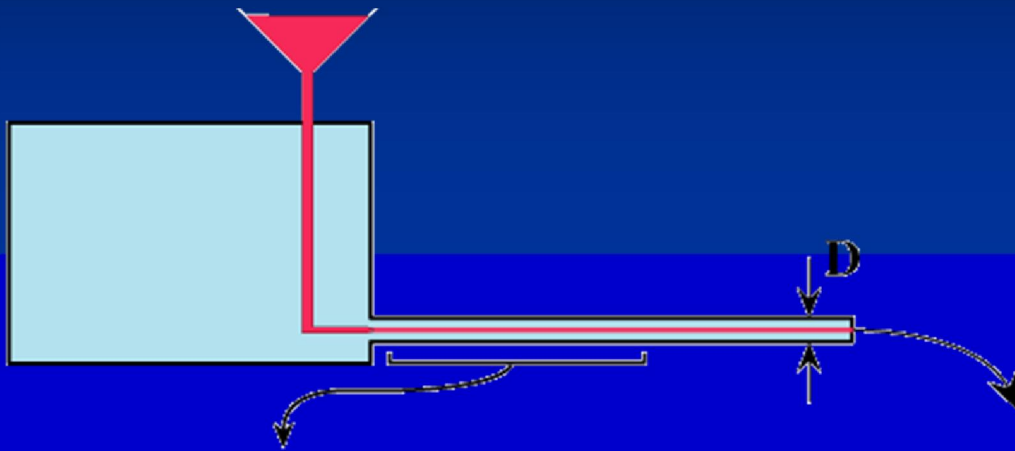
Laminares versus Turbulentos.

Los números de **Reynolds** y **Froude** proveen un modo de espresar la naturaleza del flujo en términos de su comportamiento dinámico.

Número de Reynolds. Expresa la relación entre las fuerzas inerciales y viscosas dentro de un fluido y entonces el grado de turbulencia.



El experimento de O. Reynolds



El marcador sigue un camino recto



El marcador sigue un camino ondulado pero sin mezclarse



Inmediata mezcla

Número de Reynolds

$$R_e = UR\rho/\mu = UR/\nu$$

U = velocidad media del flujo

R = radio hidráulico (A/P)

ν = viscosidad cinemática (μ/ρ)

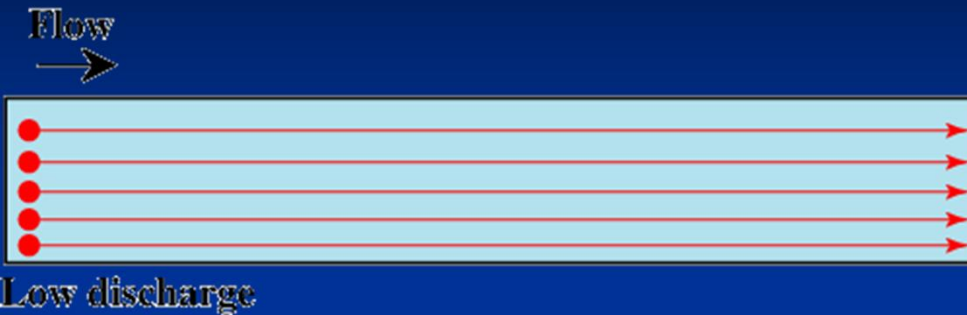
ρ = densidad

μ = viscosidad

- Balance entre fuerzas inerciales (que causan turbulencia) y viscosas (suprimen turbulencia)
- Flujo Laminar: $Re < 1000$ – domina viscosidad; poca profundidad o baja velocidad
- Flujo Turbulento: $Re > 1000$ – domina inercia; flujo profundo o rápido

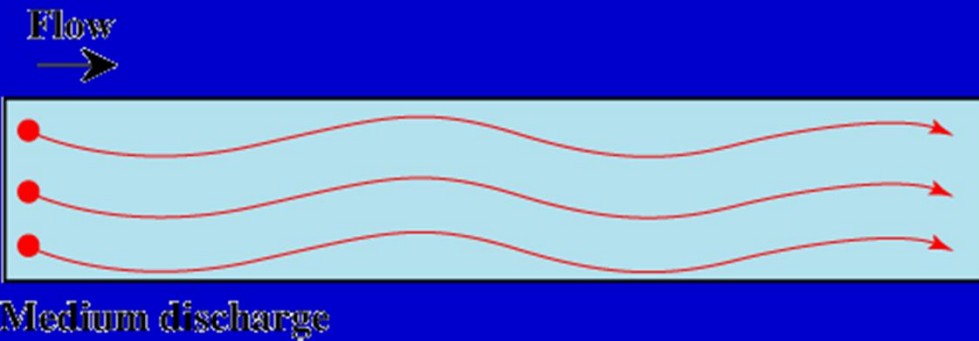
Resultados del experimento de Reynolds

$$R = \frac{UD}{\nu}$$



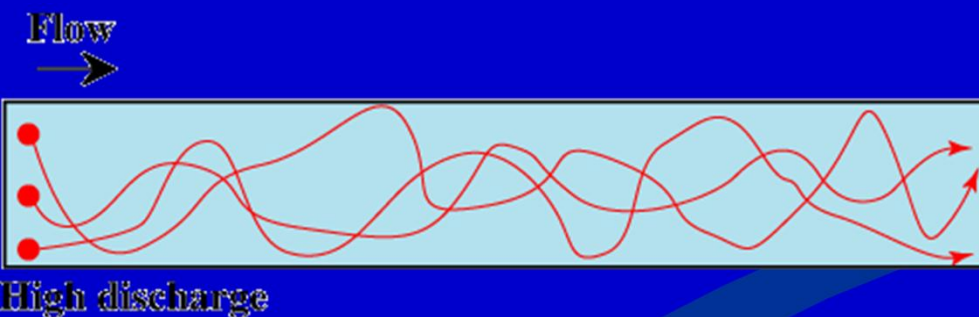
Flujo Laminar: cada molécula sigue un camino recto y paralelo a los márgenes.

$$R < 1000$$



Flujo transicional: cada molécula sigue un camino ondulado y no paralelo a los márgenes.

$$1000 < R < 2000$$



Flujo turbulento: cada molécula sigue un camino compello que lleva al desarrollo de remolinos y mezcla.

$$R > 2000$$

Tipos de Flujos Fluídos

- Flujo laminar – el flujo persiste como un movimiento unidireccional
 - Moléculas fluyen paralelamente
 - No hay movimientos hacia arriba y hacia abajo por difusión
- Flujo turbulento— flujo altamente distorcionado
 - Flujos perpendiculares a la dirección principal del movimiento
 - Transferencia de movimiento hacia arriba y abajo por procesos de macroescala
- Turbulencia = componente irregular y aleatorio del movimiento del fluido
- Remolinos = parte del fluido altamente turbulento

Flujo Laminar vs Turbulento

- Flujo Laminar – velocidad constante en un punto a través del tiempo
- Turbulencia
 - Mayoría de los flujos = turbulentos
 - Lenta velocidad de decantación – movimientos hacia arriba de la moléculas de agua
 - Incremento en la capacidad del fluído para erodar y capturar partículas del lecho pero menos eficiente en transportarlas
 - La velocidad medida en un punto varía de un momento a otro pero tiende a un valor promedio a lo largo del tiempo

Esfuerzos:

Flujos Laminares vs Turbulentos

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

Flujo Laminar

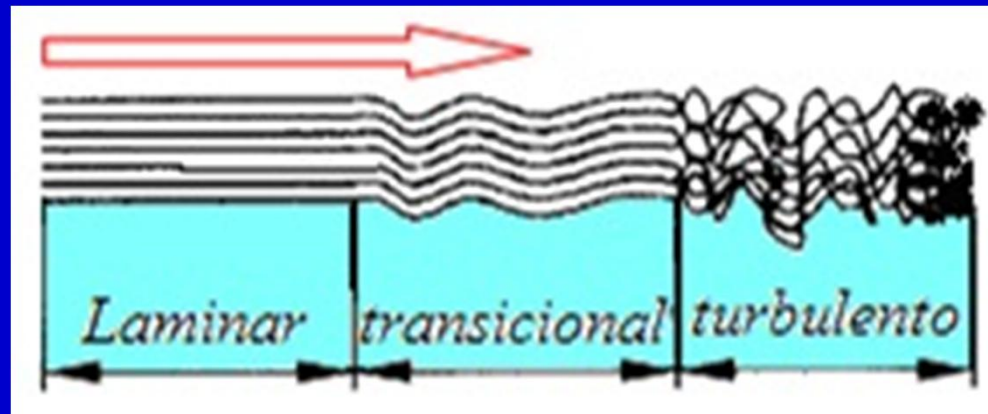
$$\tau = (\mu + \eta) \frac{du}{dy}$$

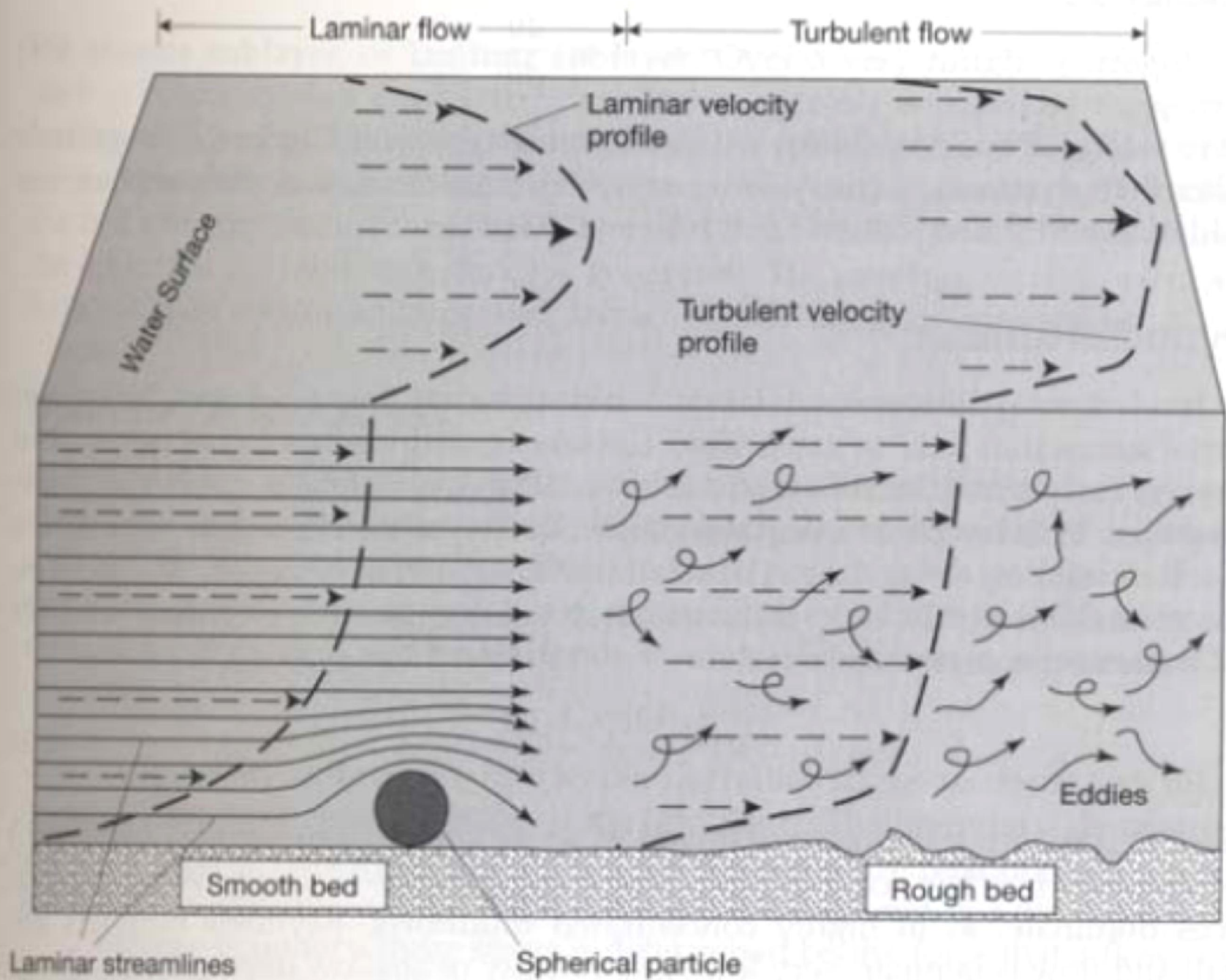
Flujo Turbulento

- Se le agrega una viscosidad aparente (viscosidad de remolino) (η) a la ecuación para flujos turbulentos
- La turbulencia genera esfuerzos mayores sobre los flúidos adyacentes que en los flujos laminares

El flujo en canales abiertos donde hay una superficie libre y las fuerzas gravitacionales son importantes se describen utilizando el Número de Froude, que representa la relación entre las fuerzas inerciales y gravitatorias

Para flujos turbulentos la profundidad (L) es inversamente proporcional a la velocidad (U); en flujos laminares ambas son proporcionales.





Número de Froude

- $Fr < 1$ Tranquilo, Subcrítico
 - Velocidad de la onda $>$ velocidad del flujo
- $Fr > 1$ Rápido, Supercrítico
 - Ondas no pueden propagarse corriente arriba
- Fr tiene relación con el régimen de flujo
 - Define formas de lecho características que se desarrollan por un flujo sobre un lecho granular

Número de Froude

$$F_r = \frac{U}{\sqrt{gL}}$$

F_r = Número de Froude

U = velocidad media

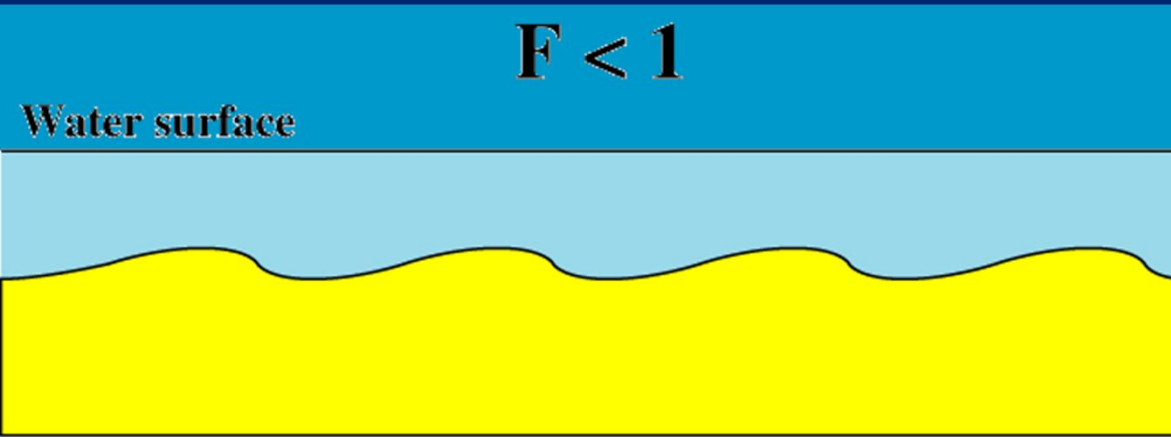
\sqrt{gL} = velocidad del movimiento
de la onda superficial

g = aceleración de la gravedad

L = profundidad del agua

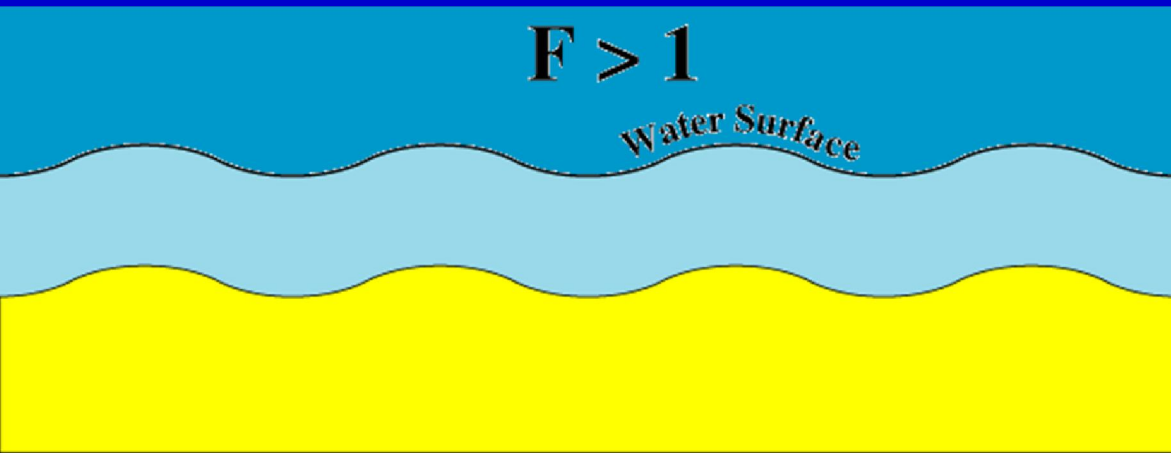
- Relación entre fuerzas inerciales y gravitacionales
- Gravedad influencia el modo en que el fluido transmite ondas superficiales
- Valor adimensional (igual que Re)

$F < 1$, $U <$ las ondas de la superficie del agua se pueden propagar aguas arriba porque su velocidad es MAYOR a la del fluido. Flujo subcrítico o tranquilo (BAJO REGIMEN).



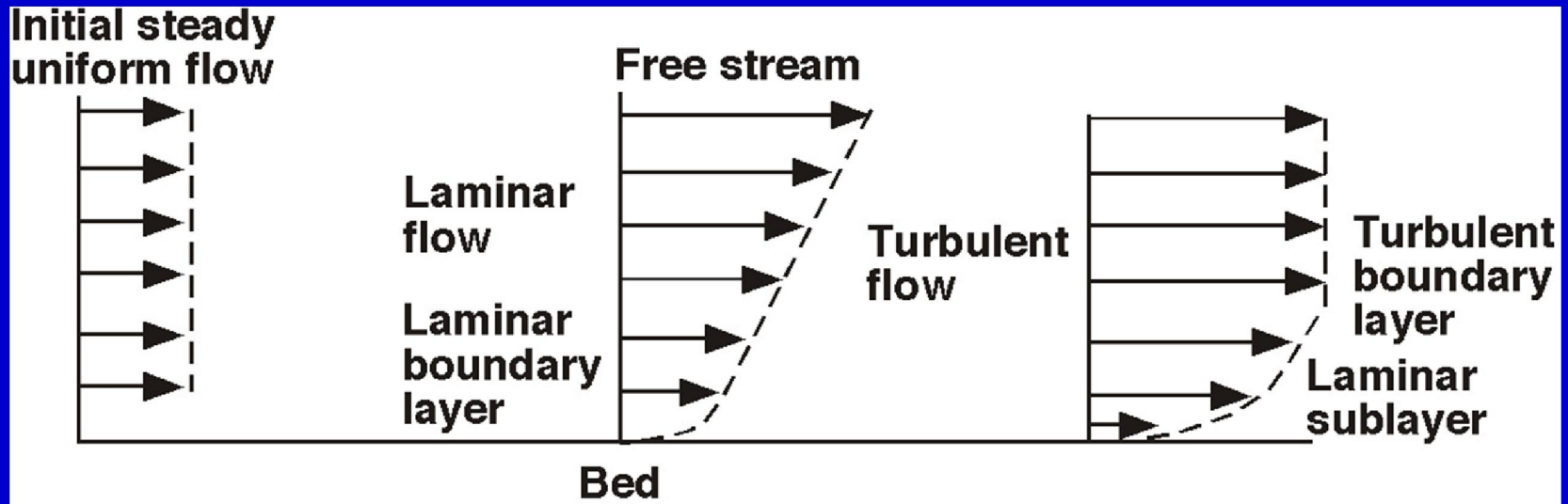
Las formas del lecho NO están en fase con las de la superficie del fluido.

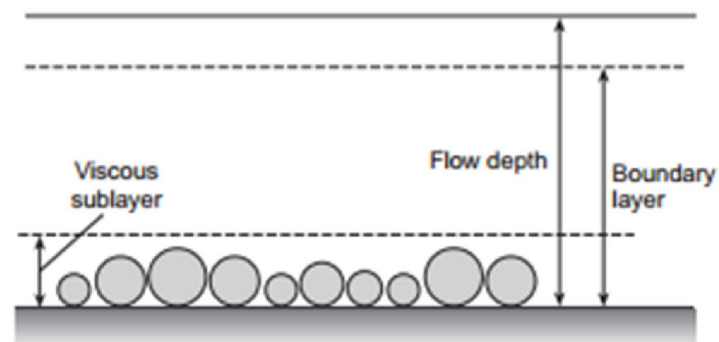
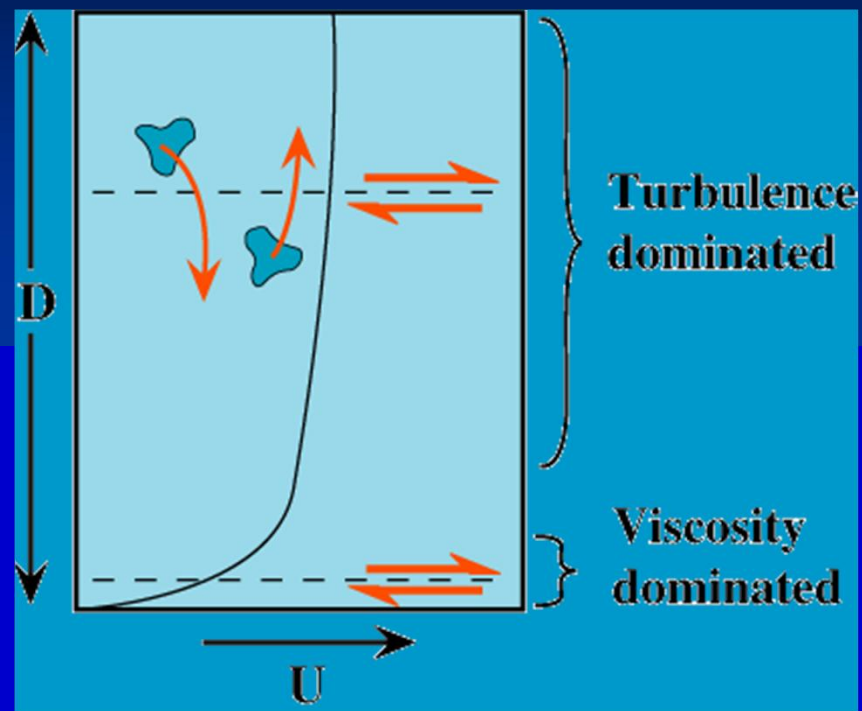
$F > 1$, $U >$ las ondas de la superficie del agua NO se pueden propagar aguas arriba porque su velocidad es MENOR a la del fluido. Flujo supercrítico (ALTO REGIMEN).



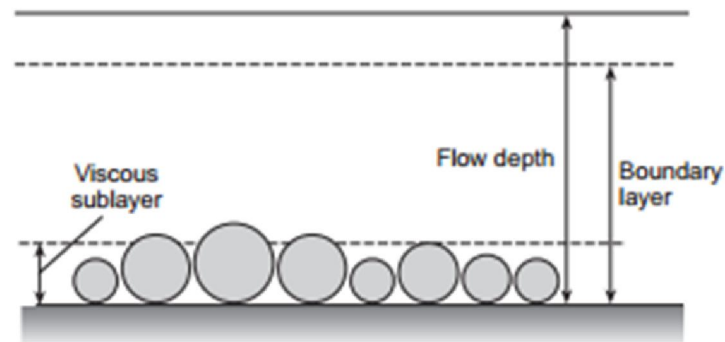
Las formas del lecho están en fase con las de la superficie del fluido.

Efectos de capa límite: Cuando una corriente fluye a lo largo de las paredes de un canal o sobre el lecho es afectada por los esfuerzos retardantes (rozamiento) producidos por la superficie limitante. La capa en contacto con la superficie rígida se denomina capa límite.





Smooth boundary:
 Thick viscous sublayer (low velocities)
 and/or small grain diameters



Rough boundary:
 Thin viscous sublayer (high velocities)
 and/or large grain diameters

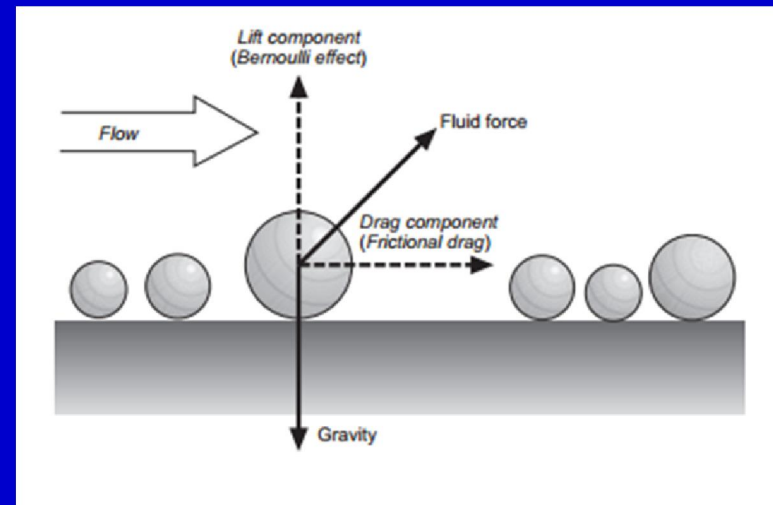
Perfiles de velocidad y rugosidad del lecho

En **flujos turbulentos** – el flujo es laminar/casi laminar sólo cerca del lecho

- Lechos suaves – fuerzas moleculares viscosas dominan en láminas delgadas cerca del lecho
 - Subcapas viscosas / subcapas laminares
- Lechos Rugosos/Irregulares
 - Gravas o arena gruesa
 - Subcapas viscosas destruídas por las partículas del lecho
 - Obstáculos generan remolinos en la interfase
- Presencia/ausencia de subcapas laminares – factores importantes en el inicio del movimiento de las partículas

Flujos y transporte de sedimentos

- La habilidad de un río de erosionar y transportar sedimentos representa un balance entre fuerzas y resistencias
- Las ecuaciones que involucran fuerzas (esfuerzos) y resistencias son el núcleo del transporte por flujos fluídos



Flujos y transporte de sedimentos

- Relaciones de conservación
 - Masa (continuidad del fluido)
 - Momento (2nd Ley de Newton – $F=M \cdot A$)
 - Energía (1^{ra} Ley de la Termodinámica)
- Relaciones constitutivas
 - Resistencia (Ecuación de Manning)
 - Transporte de sedimentos (Hjulstrom, Bagnold)
 - Presión dinámica (Bernoulli)

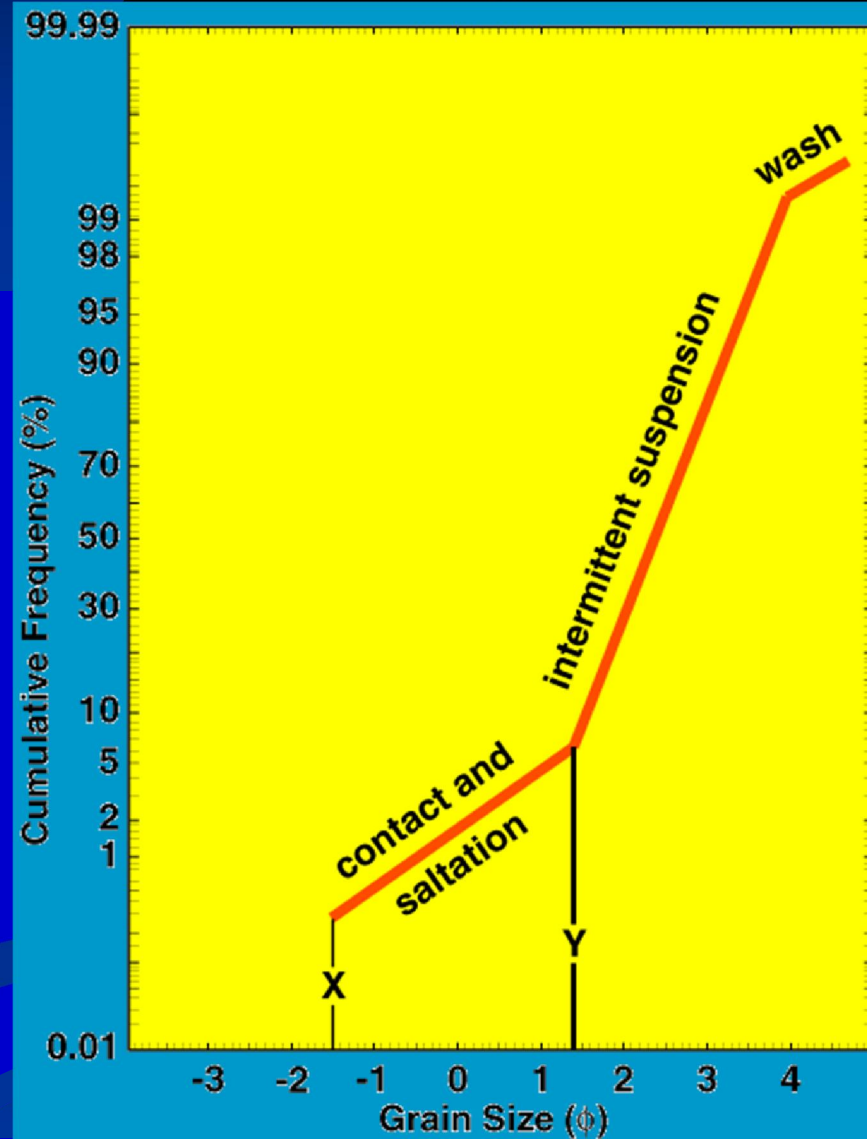
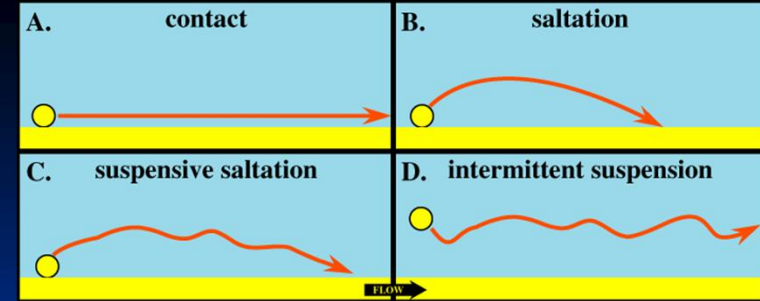
Interpretación dinámica de la distribución de poblaciones granulométricas

Partículas finas que viajan siempre en suspensión (wash)

Partículas gruesas que viajan como carga de lecho o en saltación.

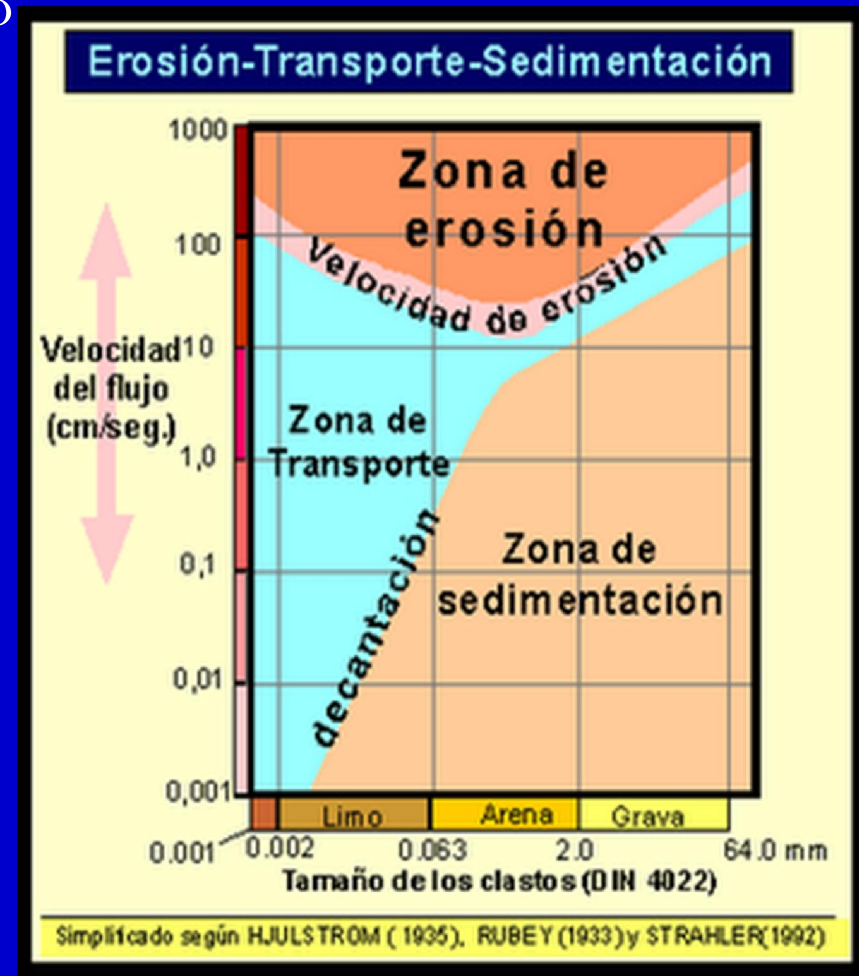
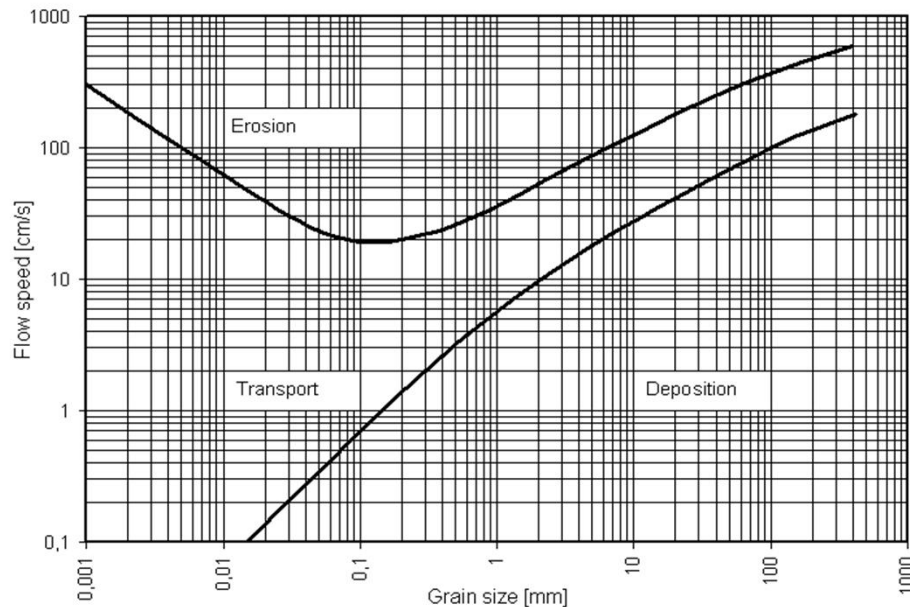
X: tamaño máximo que pudo ser transportado (umbral de movimiento)

Y: tamaño máximo que pudo ser puesto en suspensión (umbral de suspensión)



Erosión y depositación

La facilidad con la que una corriente erosiona el sustrato y por lo tanto pone en movimiento a las partículas del lecho es influenciada no sólo por el poder de la corriente sino por el tamaño de las partículas y su cohesión. La cohesión de un sustrato inconsolidado es controlada principalmente por el contenido de arcillas y la fricción entre las partículas



El diagrama de Hjulstrom

Sobre la base de experimentos hechos en un canal de 1 m de profundidad con una corriente unidireccional, el diagrama muestra la velocidad crítica requerida para erosionar partículas de diferentes tamaños (parte superior) o depositarlas (parte inferior)

